

# 粉末樹脂積層モデルの実用的な利用に向けた基礎的な研究

近藤拓郎\*・松田晋幸\*2

## Fundamental Study on Aiming for Practical Use of Plastic Powder Additive Manufacturing Model Nobuyuki Matsuda and Takuro Kondo

本研究では、粉末焼結式樹脂造形機による造形物の実用的な利用に向けた基礎的な検討としてPP(ポリプロピレン)材及びPA12(ナイロン)材の造形姿勢による引張強度や接着性能、バレル研磨による表面研磨の効果と形状変化について評価を行った。その結果、造形姿勢や接着剤の種類による引張強度の差異や、研磨による表面粗さへの低減効果とエッジ部分への集中的な摩耗を確認し、活用のための指針を整理した。

### 1. 緒言

粉末焼結式樹脂造形機で造形した粉末樹脂積層モデルは、製造や検査で使用される治具の他、一部の小ロット製品の部品など実用的な用途での利用が多く、引張強度等の機械的特性の把握や表面研磨、接着等への要望も高い<sup>1,2)</sup>。そこで本研究では、PA12材において造形方向の異なる引張試験片を造形して引張強度を評価した。また、PP材とPA12材において分割して造形した引張試験片を接着し引張強度を評価した。更にPA12材において、市販のバレル研磨装置で研磨を行い、表面性状及び形状の変化を評価し、活用のための指針を整理した。

### 2. 実験方法

図1に実験で使用した機器を、表1に使用した機器の仕様を示す。試験片及びサンプルは、全て(株)アスペクト製の粉末焼結式樹脂造形機で造形した。実施した実験は、造形姿勢による引張強度の差異評価、接着剤種による引張強度の差異評価、バレル研磨機による表面研磨効果の評価である。

表1 使用した機器の仕様

名称	メーカー (品名/型式)	仕様
粉末焼結式樹脂造形機	(株)アスペクト (RaFaE12plus 300C-HT)	レーザー:CO2(60W)
		材料:PP(ポリプロピレン) PA12(ナイロン)
精密小型引張圧縮試験機	Instron 社 (5965)	最大試験荷重:5kN
バレル研磨機	Huanyu 社 (KT3010)	メディア:(有)秋山産業 AS-ART6
		コンパウンド:(有)秋山産業 AS-AC-D
表面粗さ計	(株)小坂研究所 (SE-30K)	触針材種:ダイヤモンド
		先端半径:2μm
		先端角度:60° 測定圧力:0.75mN
3D スキャナー (光学縞投影)	Steinbichler 社 (COMET L3D-8M)	レンズ:150mm
		点間距離:0.042mm

#### 2・1 造形姿勢による引張強度の違い

図2に造形時の姿勢を示す。造形姿勢は造形ステージに対して0°、45°、90°の3種類とした。試験片形状はJIS K7161-2に記載されている1A形に準拠した。造形材料は、PA12材である。造形した試験片の引張強度を精密小型引張圧縮試験機で測定した。引張速度は、10mm/minとした。測定した試料数は姿勢ごとに5個とし、平均値を算出した。



図1 実験に使用した機器

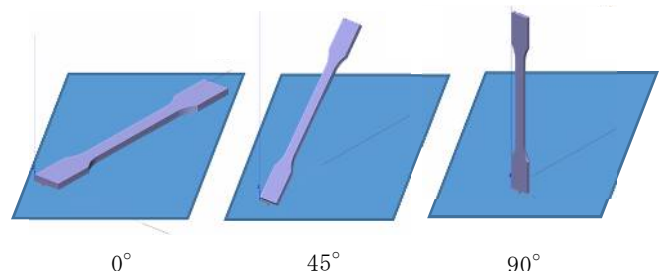


図2 造形時の姿勢

\* 技術支援部 製品技術グループ

\*2 技術支援部 技術管理室

2・2 接着剤種による引張強度の違い

図3に接着剤種による接着性を評価するために分割して造形した試験片を示す。標準片は、JIS K7161-2に記載されている1A形を二等分したモデルで造形した。造形材料は、PP材及びPA12材である。造形時の姿勢は0°、45°、90°とした。図4に各試験片間の接着状態を均一化するための接着用治具を示す。全ての試験片を同一の治具を用いて接着した。表2に使用した接着剤を示す。接着剤はシアノアクリレート系3種とエポキシ系、変性シリコン樹脂系、シリル化ウレタン樹脂系をそれぞれ1種ずつ使用した。評価した試料数は姿勢ごとに5個とし、平均値を算出した。



a) 接着前

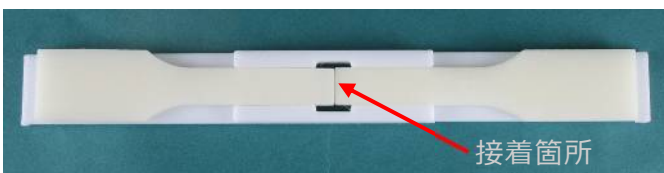


b) 接着後

図3 分割して造形した試験片 (PA12)



a) 接着治具本体



b) 使用時

図4 接着用治具

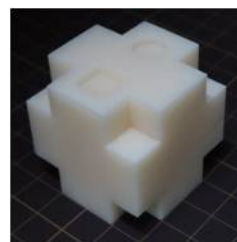
表2 使用した接着剤

	種別	主な対象材料
①	シアノアクリレート系(A社)	金属, 合成ゴム, 硬質プラスチック 等
②	シアノアクリレート系(B社)	PP, PE, ウレタン, シリコン, ゴム 等
③	シアノアクリレート系(C社)	金属, 合成ゴム, 硬質プラスチック 等
④	エポキシ系	エンブレ, 各種プラスチック, ステンレス 等
⑤	変性シリコン樹脂系	金属, ナイロン, アクリル, ゴム, ポリカーボネート等
⑥	シリル化ウレタン樹脂系	金属, 硬質プラスチック, 合成ゴム, 硬質プラスチック, 木材, コンクリート 等

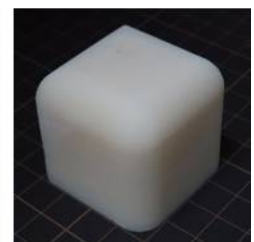
2・3 バレル研磨機による表面研磨の効果

図5にバレル研磨評価用サンプルを示す。サンプルは一边が40mmの立方体をベースにしており、評価の目的に応じて一部形状に変更を加えた。サンプルAは、コーナーエッジの摩耗が評価できるようにコーナーエッジを多く設けた形状で造形した。サンプルBは、フィレットを施したコーナーの摩耗が評価できるように、エッジにR=2, 4, 6, 8, 10mmの半径が異なるフィレットを施した。造形材料は、PA12材である。バレル研磨は、市販されている市販のバレル研磨機で3時間実施した。回転速度は、4段階の設定が可能であり、最も速い回転速度を使用した。また、正転と逆転を繰り返す反転機能を使用した。充填した研磨材料は、二酸化ケイ素と酸化アルミナを主成分とした荒研削用のセラミック系メディア1kg、コンパウンド20mL、水1Lとした。評価は表面粗さと寸法及び形状測定とした。

図6に表面粗さ及び寸法測定評価箇所を示す。表面粗さは、造形時に造形ステージと接触する下面と積層による段が生じる側面、走査面となる上面の三箇所とした。また、表面粗さの測定条件はJIS B0601に準拠しカットオフ値λc=2.5mm、評価長さ12.5mm、送り速度0.5mm/sとし、Raで評価した。寸法及び形状測定は、3Dスキャナー(光学縞投影)でサンプル形状を測定し、得られた形状データに対して3D Systems社製の3D検査用ソフトウェア Geomagic Controlを用いて評価した。幅W、奥行D、高さHの長さ測定とベストフィット処理を用いた形状比較を実施した。



a) サンプル A



b) サンプル B

図5 バレル研磨用サンプル

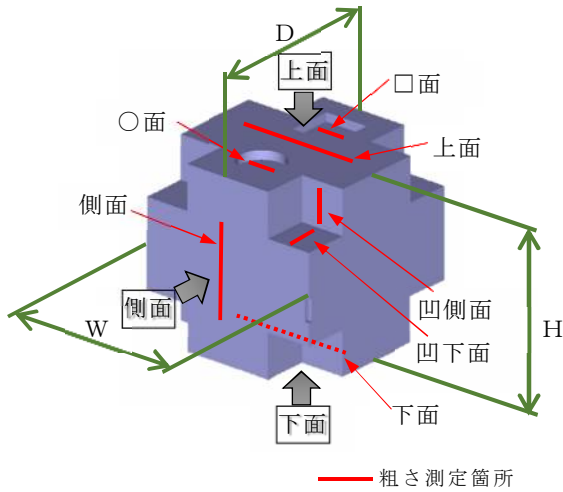


図 6 表面粗さ及び寸法測定評価箇所

### 3. 実験結果

#### 3・1 造形姿勢による引張強度の違い

図 7 に造形姿勢と引張強度の関係を示す。なお、図中の破線はメーカーの公称値 (47MPa) をである。造形姿勢は 0° の際に最も引張強度が高く、メーカーの公称値 47MPa に対して 43MPa (公称値に対して約 91%) の強度を確認した。粉末床熔融結合方式は、樹脂の再結晶化の仕組みを利用していることから異方性は小さいと推測されていたが 10%程度の差異が確認された。

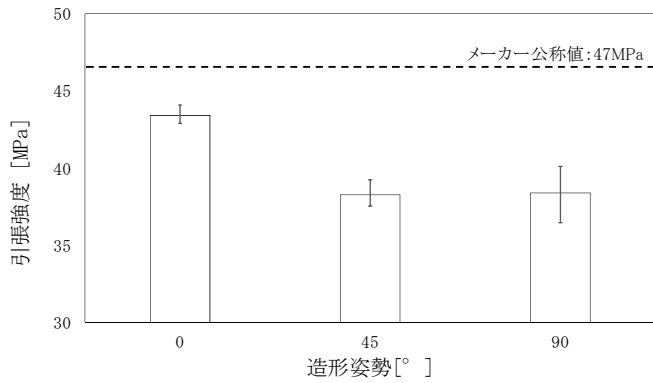
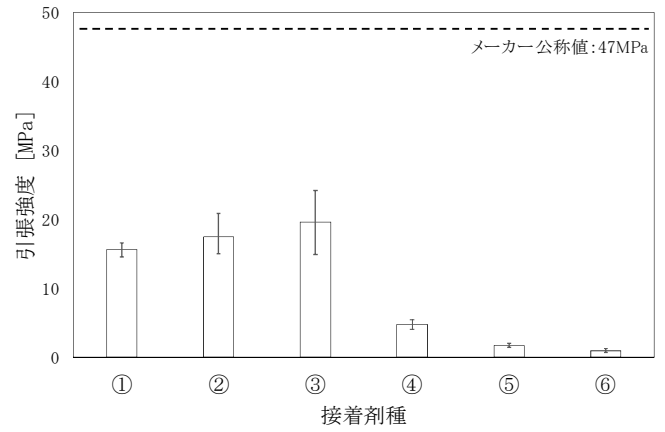


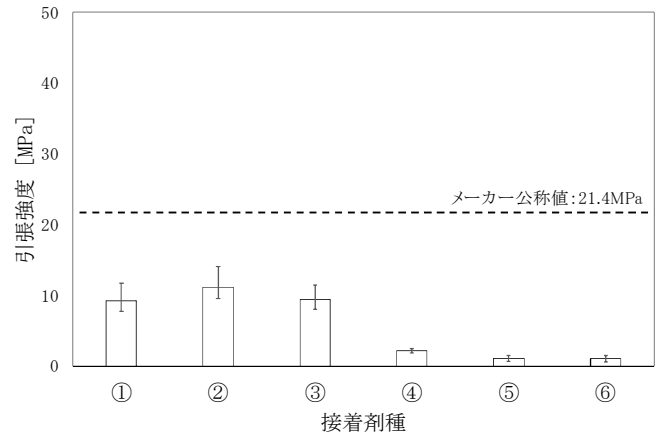
図 7 造形姿勢と引張強度の関係

#### 3・2 接着剤種による引張強度の違い

図 8 に接着剤種と引張強度の関係を示す。なお、図中の破線はメーカーの公称値 (PA12:47MPa, PP:21.4MPa) である。引張強度は、PA12 及び PP 共にシアノアクリレート系 (①, ②, ③) の接着剤を使用した際が高い傾向にあった。PA12 では③の接着剤の平均引張強度が最も高く、19.7MPa でメーカーの公称値 (47MPa) の約 42%程度であった。また、PP では②の接着剤の平均引張強度が最も高く、11.2MPa でメーカーの公称値 (21.4MPa) の約 52%程度であった。接着剤を用いた接合は、引張強度が半減する可能性が高く、注意が必要であることが確認された。



a) 造形材料 PA12



b) 造形材料 PP

図 8 接着剤種と引張強度の関係

#### 3・3 バレル研磨機による表面研磨の効果

図 9 にバレル研磨前後の表面粗さ Ra を示す。表面粗さの差異は位置によって傾向が異なり、側面が最も変化が大きい結果となった。側面は積層による段が生じる面であり、初期状態での表面粗さが上面よりも小さいにもかかわらず研磨の効果が大きい。これは図 10 の粗さ曲線に示すように、積層によって生じる段差の間隔が造形時の走査間隔によって生じる段差の間隔よりも細かく凸部を除去し易い形状をしていることが要因と考えられる。また、上面、○面、□面、凹下面は全て走査面であるが、バレル研磨による表面粗さ低減効果は類似している。このことから、多少の段差や凹部分であっても比較的均一に研磨できるという事が確認された。

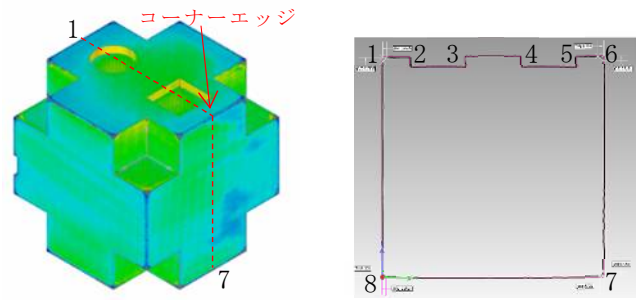
図 11 にサンプル A とサンプル B の面間幅寸法測定結果を示す。全ての箇所測定値が減少しているが、減少率は 0.2%程度であった。表面粗さ測定の結果から、方向によっては減少率に差異が生じると推測されていたが、減少率自体が微小であり顕著な傾向は確認できなかった。

図 12 にサンプル A における形状比較及びコーナーエッジ測定箇所とその結果を示す。形状比較は CAD データとの比較であり、青い部分が CAD データに対して内側に小さくなっている箇所である。形状比較から分かるようにコーナーエッジに集中的な摩耗が確認された。コーナーエッジの



摩擦量を確認するため、コーナーエッジ測定箇所を示す 8 箇所にて C 面の測定を実施した。研磨前と研磨後の比較により、コーナーエッジはバレル研磨機による 3 時間の研磨で C0.5~1.0mm 程度の面取り効果があることが確認された。

図 13 にサンプル B における形状比較及びコーナー R 測定箇所とその結果を示す。コーナー R は研磨による変化が殆ど無く、0.5%未満の差異であった。



a) 形状比較 b) コーナーエッジ測定箇所 (1-7 断面)

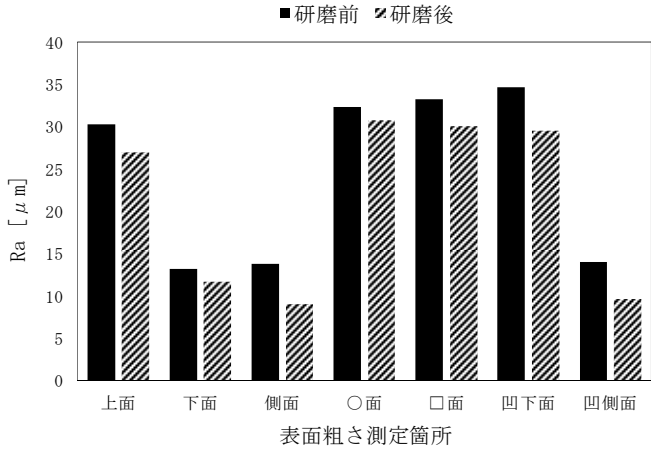
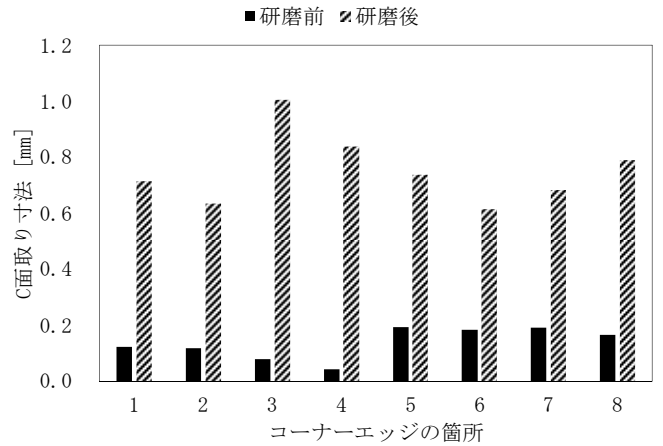
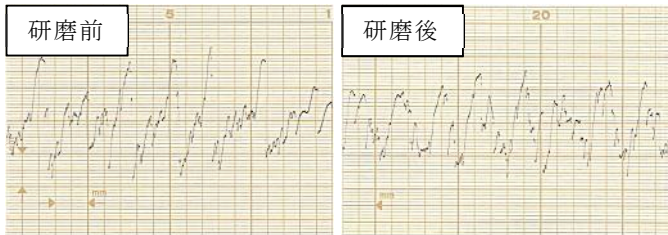


図 9 バレル研磨前後の表面粗さ Ra

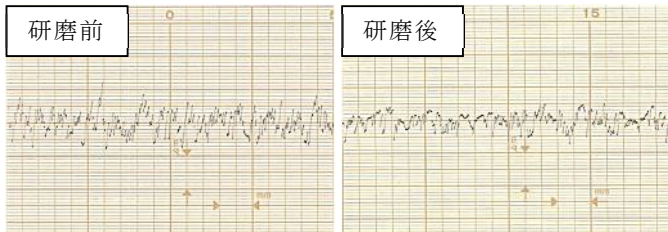


c) コーナーエッジ C 面測定結果

図 12 形状比較及びコーナーエッジ測定箇所とその結果



a) 上面



b) 側面

図 10 粗さ曲線

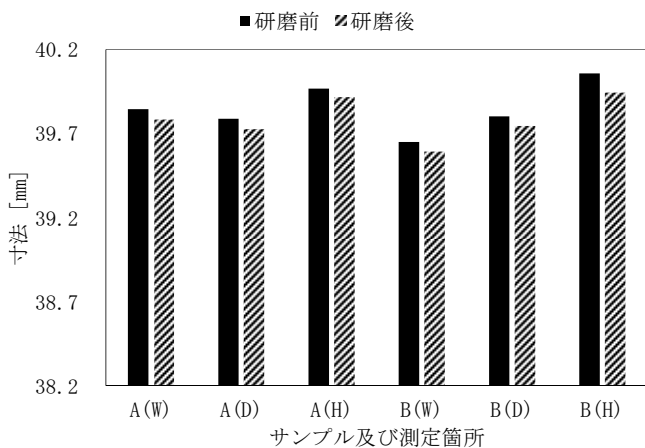
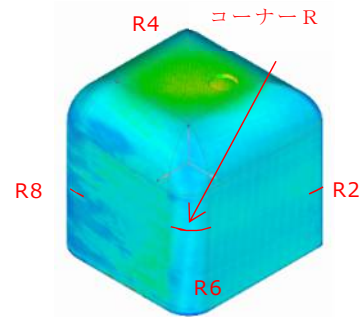
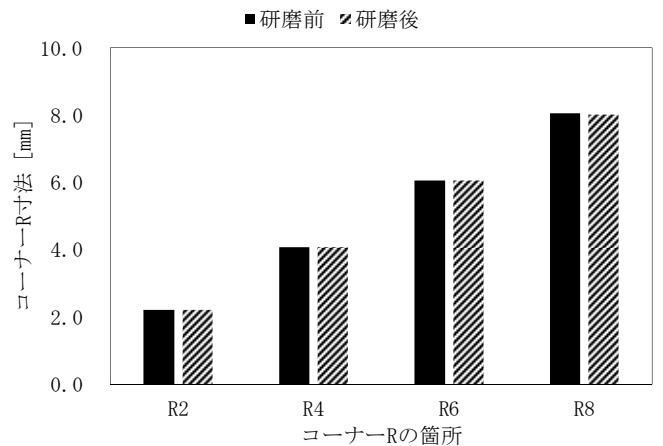


図 11 面間幅寸法測定結果



a) 形状比較及びコーナー R 測定箇所



b) コーナー R 測定結果

図 13 形状比較及びコーナー R 測定箇所とその結果

#### 4. 結 言

本研究では、粉末焼結式樹脂造形機で造形した粉末樹脂積層モデルにおいて、造形姿勢と引張強度の関係、接着剤種と引張強度の関係、バレル研磨による表面粗さや寸法及び形状の変化について評価した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 造形姿勢は  $0^\circ$  が最も引張強度が高く、PA12 においてメーカーの公称値 47MPa に対して 43MPa (公称値に対して約 91%) であることを確認した。造形姿勢によっては強度が 10%以上低下する場合もあり、強度が必要な方向を考慮した造形姿勢の選択や、安全率を見込んだ設計等が必要である。
- 2) 接着剤種は PP 及び PA12 共にシアノアクリレート系で最も引張強度が高く、PP で 19.7MPa、PA12 で 11.2MPa (公称値に対して PA12 約 42%、PP 約 52%) であることを確認した。強度が低い接着剤においては母材の数%程度の強度となる場合もあり、材料に合っ

た接着剤を正しく選定することが重要である。また、接着剤による接合を予定している場合は、事前に十分な安全率を確保した設計を行うことも重要である。

- 3) バレル研磨機による表面研磨は、表面粗さやコーナーエッジには一定の効果があり、面間の幅寸法変化やコーナーR については殆ど効果が無い等、形状に対する研磨の影響度や傾向を確認した。造形後にバレル研磨機を使用する場合、得られた指針を考慮し元の形状に一部工夫する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 新野俊樹:「樹脂造形—第3加工法への挑戦—」, 日本機械学会誌, **115**(1120), p. 160-161(2012).
- 2) 木暮尊志, 横山幸雄, 山内友貴, 山中寿行:粉末焼結型造形による造形の機械的性質に対する造形方向の影響, 東京都立産業技術研究センター研究報告, **8**, p. 72-75(2013).